

# 自动扶梯驱动力

杨兰春 刘 珍 编著

设计  
—  
安装  
—  
维修



机械工业出版社

TH236  
√/-474

# 自动扶梯驱动器

## 设计 安装 维修

杨兰春 刘 珍 编著



机械工业出版社

本书系统论述了自动扶梯(人行道)驱动机主动机构的选择和设计计算;较全面地分析和讨论了驱动机的结构设计、制造工艺、安装及维修技术;重点探讨了控制驱动机产品质量应采取的政策;深入地研讨了驱动机产生振动和噪声的基源及影响因素,给出了降低振动和噪声的途径和方法。

本书可供电梯工程技术人员及高级技术工人参考应用。

## 图书在版编目(CIP)数据

自动扶梯驱动机:设计 安装 维修/杨兰春等编著. —  
北京:机械工业出版社,1998.9

ISBN 7-111-06501-8

I. 自… I. 杨… III. ①自动扶梯-驱动机构-机械设计②自动扶梯-驱动机构-安装③自动扶梯-驱动机构-维修 N. TH236

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 20578 号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑:刘小慧 版式设计:霍永明 责任校对:肖新民  
封面设计:姚毅 责任印制:路琳  
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
1998 年 9 月第 1 版第 1 次印刷  
850mm×1168mm<sup>1/32</sup>·8.5 印张·217 千字  
0 001—3 000 册  
定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

# 前 言

电梯（垂直梯、自动扶梯、人行道）是机电一体化的典型产品。近年来自动扶梯的高速度发展，不仅满足了各部门的需要，而且促进了各行业的兴隆发达，效益倍增。“自动扶梯热”的形成和持续，将进一步促使新产品的开发和产品质量的提高。在这种形势下，普及电梯技术，研究电梯技术已成为当务之急。

自动扶梯和人行道多用于人流密集的公共场所，是载人的大型运载设备。为了使乘客舒适，对公共场所不产生噪声污染，对扶梯及人行道的主要要求是运行平稳、噪声小。故降低噪声和振动是扶梯技术的主要攻关项目。

驱动机是自动扶梯和人行道的驱动和减速机构，是扶梯和人行道的主要组成部分。研究驱动机，采用高技术设计驱动机、高质量地生产驱动机已成为开发和发展自动扶梯的重要课题。为了配合这一发展要求，为了适应开发、生产、使用和维修的需要，为了普及驱动机有关的系统知识，我们编著了《自动扶梯驱动机设计 安装 维修》一书。

本书共分 10 章。书中主要对主传动机构的设计、驱动机的结构设计、制造和安装工艺、测试、维修，特别是对振动和噪声源、影响因素和对策作了详细分析和介绍。本书以“立足全局反映共性、突出重点、面向国内、服务生产、便于应用”为原则，采用最新标准，内容新颖，图文并茂，力求为驱动机的设计和应用提供方便。

本书可供电梯部门的技术人员、驱动机生产、安装、维修的技术工人参考应用。

本书在编写过程中，由九三太工大电梯实业公司组织并给予资助；中国建筑机械化研究所马培忠高工，从提纲编写到内容取舍都提出了宝贵意见；天津远东电扶梯有限公司邱贞金高工、天

津利通电梯有限公司张德林高工、江西长林机械厂张宏工程师等都给予了大力支持。在此，我们一并表示衷心感谢。

本书执笔人如下：第1章刘珍、杨兰春，第2章刘珍、刘国强，第3章门庄研、许树勤，第4章杨兰春、刘珍，第5章刘珍、王海珍，第6章刘珍、李润，第7章刘珍、李丽芬，第8章刘珍，第9章刘珍、李丽芬，第10章杨兰春、王海珍。本书由杨兰春整理定稿，由傅则绍教授审稿。

作 者

1997年12月于太原

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 问题的提出 .....	1
1.2 驱动机的发展趋势 .....	3
1.2.1 选择具有优良啮合特性的主传动机构 .....	4
1.2.2 设计出体积载荷大、结构紧凑的驱动机 .....	4
1.2.3 驱动机产品的“三化” .....	5
1.2.4 对驱动机进行较全面的研究 .....	5
<b>第 2 章 驱动机的类型</b> .....	7
2.1 驱动机应具备的技术条件 .....	7
2.1.1 驱动机的组成 .....	7
2.1.2 自动扶梯对驱动机的技术要求 .....	8
2.2 驱动机主传动机构的选用 .....	9
2.2.1 主传动机构的选择原则和依据 .....	9
2.2.2 传动机构的性能及对比分析 .....	10
2.3 驱动机的结构形式 .....	16
2.3.1 立式与卧式驱动机 .....	16
2.3.2 整轴式和分轴式驱动机 .....	16
<b>第 3 章 自动扶梯的驱动功率计算</b> .....	19
3.1 自动扶梯的主要参数 .....	19
3.2 自动扶梯梯路的运动分析 .....	21
3.2.1 自动扶梯梯路各区段划分图 .....	21
3.2.2 梯路设计中的若干结构参数 .....	22
3.3 扶梯额定速度与驱动机输出轴转速的关系 .....	23
3.4 自动扶梯的阻力计算 .....	25
3.4.1 逐点法 .....	25
3.4.2 总阻力法 .....	34

3.5	自动扶梯的功率计算 .....	36
3.5.1	逐点法 .....	36
3.5.2	总阻力法 .....	38
3.5.3	简化计算法 .....	38
3.5.4	经验公式法 .....	40
3.6	功率计算的源程序 .....	42
3.6.1	逐点法 (POWER1) .....	43
3.6.2	总阻力法 (POWER2) .....	47
<b>第4章</b>	<b>驱动器典型主传动机构的设计 .....</b>	<b>49</b>
4.1	蜗杆副主传动机构的特点 .....	49
4.1.1	运动特性 .....	49
4.1.2	强度特性 .....	49
4.1.3	用于减速装置的蜗杆副 .....	50
4.1.4	蜗杆传动效率 .....	51
4.1.5	具有灵活的设计特性 .....	51
4.2	圆柱蜗杆副共轭齿面形成原理 .....	51
4.2.1	用仿形法 (车削法或称轨迹法) 加工蜗杆 .....	51
4.2.2	用展成法加工蜗杆 .....	52
4.3	圆柱蜗杆副的几个基本术语 .....	52
4.3.1	蜗杆螺旋线的导程角 $\gamma_1$ .....	52
4.3.2	节圆、节线、节点 .....	53
4.3.3	传动比 $i_{12}$ .....	54
4.3.4	蜗杆副的中间平面 .....	54
4.3.5	蜗杆副的正确啮合条件 .....	55
4.3.6	蜗杆副的径向变位 .....	55
4.3.7	蜗杆副的运动特点 .....	58
4.4	蜗杆传动的润滑原理简介 .....	60
4.4.1	齿面间的最小油膜厚度及影响因素 .....	60
4.4.2	膜厚比 .....	61
4.4.3	蜗杆副共轭齿面间的润滑状态 .....	61
4.5	圆柱蜗杆副的“最佳”啮合部位 .....	63
4.5.1	蜗轮齿面上的“危险区” .....	63
4.5.2	圆柱蜗杆副蜗轮齿面上的啮合特性及“最佳”啮合部位 .....	65

4.5.3	蜗轮齿面上的“最佳”啮合略图 .....	66
4.6	圆柱蜗杆副合理搭配几何参数新方案 .....	68
4.7	普通圆柱蜗杆副的设计 .....	69
4.7.1	ZK <sub>1</sub> 蜗杆副的设计与计算 .....	69
4.7.2	ZI 蜗杆副的设计与计算 .....	76
4.8	ZC 蜗杆副的设计与计算 .....	80
4.8.1	分类 .....	81
4.8.2	圆弧圆柱蜗杆副的啮合特性 .....	83
4.8.3	ZC 蜗杆副中的几个基本问题 .....	84
4.8.4	ZC <sub>3</sub> 蜗杆副的齿形设计与齿形参数 .....	87
4.8.5	ZC <sub>1</sub> 蜗杆副的设计计算 .....	88
4.8.6	ZC 蜗杆副几何参数综述 .....	93
4.8.7	ZC <sub>3</sub> 、ZC <sub>1</sub> 蜗杆副几何尺寸计算表 .....	94
4.8.8	ZC 蜗杆副驱动机设计中的技术要求 .....	94
4.9	偏置圆柱蜗杆副 .....	100
4.9.1	传动特点 .....	100
4.9.2	蜗杆与蜗轮相对位置确定后的“最佳”转向 .....	101
4.9.3	几个基本问题 .....	101
4.9.4	偏置蜗杆副的几何计算 .....	103
4.10	非对偶展成蜗轮时蜗杆副的设计计算 .....	104
4.10.1	非对偶展成常用的几种方法 .....	105
4.10.2	蜗杆副的设计计算 .....	105
4.11	圆柱齿轮副在主传动机构中的应用 .....	109
4.11.1	几何参数的选择 .....	109
4.11.2	斜齿圆柱齿轮副的设计与计算 .....	110
<b>第5章</b>	<b>圆柱蜗杆副的制造工艺 .....</b>	<b>118</b>
5.1	蜗杆与蜗轮毛坯 .....	118
5.2	蜗杆加工工艺 .....	118
5.2.1	蜗杆加工工艺规范 .....	118
5.2.2	蜗杆磨齿前的精车工艺 .....	118
5.3	蜗杆的齿面磨削 .....	121
5.4	蜗轮加工工艺 .....	123
5.4.1	蜗轮加工规范 .....	123



5.4.2	滚齿	123
5.4.3	蜗轮的精加工	124
5.5	蜗杆、蜗轮、蜗杆副误差产生原因及对策	126
5.5.1	蜗杆齿距误差及累积误差	126
5.5.2	蜗杆齿槽径向圆跳动超差	127
5.5.3	蜗杆齿形超差	127
5.5.4	蜗杆齿面粗糙度误差超差	127
5.5.5	蜗轮齿形超差	128
5.5.6	蜗轮齿距误差超差	130
5.6	蜗杆副接触不良的原因及对策	130
5.6.1	“最佳”接触斑点	131
5.6.2	在蜗轮左右齿面的入口接触	131
5.6.3	在蜗轮左右齿面上一边入口接触、一边出口接触	131
5.6.4	在蜗轮左右齿面的出口处接触	131
5.6.5	蜗轮齿顶接触,左右齿面呈“月牙形”	132
5.6.6	蜗轮左右齿面在一周中从轮齿上端接触慢慢过渡到对 面的轮齿下端接触	132
5.6.7	蜗轮左右齿面在一周中从一轮齿顶部接触慢慢过渡到 齿根接触	132
5.6.8	在蜗轮左右齿面的齿根处接触	132
5.6.9	在蜗轮齿面上轮齿接触轻重不一	133
5.6.10	蜗轮左右齿面上一侧齿根接触一侧齿顶接触	133
5.6.11	蜗轮左右齿面上四点接触	133
5.6.12	蜗轮左右齿面上一侧接触良好一侧一端小面积接触	134
5.6.13	蜗轮左右齿面中间不接触	134
5.6.14	蜗轮左右齿面中间小块长条接触	134
5.6.15	蜗轮齿面上断续线段接触	134
<b>第6章 驱动机的结构设计</b>		<b>136</b>
6.1	驱动机结构设计应达到的技术要求	136
6.2	结构设计中应重视的几个技术原则	136
6.2.1	认真了解被设计零件的基本要求和条件	137
6.2.2	零件的联接和配合技术	137
6.2.3	提高强度、刚度和延长寿命的结构设计	137

6.2.4	合理设计结构,降低振动和噪声	138
6.3	驱动机整体设计与考虑的问题	138
6.3.1	选择机型确定基本结构尺寸	138
6.3.2	外观布置及尺寸确定	139
6.4	驱动机箱体设计	141
6.4.1	主传动机构的装配形式	142
6.4.2	箱体上散热肋的结构形状	142
6.4.3	箱体结构的对称性要求	143
6.5	整轴式蜗杆副驱动机轴蜗杆的结构	143
6.5.1	轴承及轴承在轴蜗杆上的位置	143
6.5.2	轴蜗杆的结构	146
6.6	制动系统的结构设计	148
6.6.1	块式摩擦制动系统	149
6.6.2	软抱闸带式摩擦制动系统	154
6.6.3	端面摩擦制动系统	156
6.7	速度限制装置	158
6.7.1	离心式限速器	159
6.7.2	光电式限速器	161
6.8	非超速逆转保护装置	161
6.8.1	机—电式防逆运转器	162
6.8.2	信号控制式防逆运转器	163
6.9	减小振动和噪声的结构设计	164
6.9.1	避免运动件间撞击	164
6.9.2	提高结构的动刚度	164
6.9.3	扩散阻尼	165
6.9.4	减小零件噪声的结构设计	166
6.10	驱动机结构设计中应注意的其他问题	167
6.10.1	合理设计通气孔	167
6.10.2	合理设计排油孔	167
6.10.3	合理选用驱动机表面色彩	167
<b>第7章</b>	<b>驱动机的安装工艺</b>	<b>169</b>
7.1	驱动机安装中应实现的技术指标	169
7.1.1	精心调整主传动机构的啮合斑点	169

7.1.2	完成图样要求的轴窜量	169
7.1.3	精心装配,达到“最佳”配合	169
7.1.4	提高表面质量	169
7.1.5	制动器、限速器和防逆运转器的安装	169
7.1.6	重视跑合工艺	170
7.2	驱动机安装工艺流程	170
7.2.1	测量一批零件精度,择优组合	170
7.2.2	对主要的大尺寸旋转零件作静平衡	170
7.2.3	彻底清砂、涂防锈底漆	170
7.2.4	安装轴系零件	170
7.2.5	轴蜗杆与箱体配合	171
7.2.6	电动机定子(壳)与箱体配合	171
7.2.7	装轴承支承压盖和上轴承	171
7.2.8	装配蜗轮,初测驱动机性能	172
7.2.9	跑合	172
7.2.10	装限速器与防逆运转器	172
7.2.11	装制动器	172
7.2.12	油漆	173
7.2.13	出厂前的质量总测量	173
7.3	蜗杆副的安装	173
7.4	安装轴承	173
7.4.1	安装轴承应注意的事项	173
7.4.2	安装轴承前的准备工作	174
7.4.3	驱动机用轴承的安装工序	175
7.5	制动器的安装	177
7.6	安装中常出现的症候,原因及对策	177
7.6.1	在跑合过程中轴承盖处发热	177
7.6.2	电动机磁力声增大,有远距离听到的鸣叫声	177
7.6.3	轴承噪声过大	178
7.6.4	空载时噪声小,承载后噪声增大	179
7.6.5	驱动机的渗油和漏油现象	180
7.6.6	驱动机油温升过高	180
7.6.7	输出轴扭振超差	180

7.7	驱动机轴窜量的控制	180
7.8	驱动机的跑合	182
7.8.1	跑合过程的特点	183
7.8.2	跑合中应重视的几个问题	184
7.8.3	跑合质量检验	185
<b>第8章</b>	<b>驱动机的维修</b>	<b>186</b>
8.1	驱动机使用过程中常出现的失效形式	186
8.1.1	主传动机构的磨损失效	186
8.1.2	轴承烧伤失效	191
8.1.3	驱动机在使用一段时间后,漏油或渗油	193
8.1.4	磁力器线圈烧损	193
8.1.5	驱动机在工作过程中振动和噪声增大	194
8.2	驱动机的润滑	194
8.2.1	主传动机构润滑油的选择	194
8.2.2	油标值	197
8.2.3	驱动机中轴承的润滑	197
8.3	胶合蜗杆副的修复	199
8.3.1	机加工修复	199
8.3.2	手工修复	199
8.4	更换轴承	200
8.4.1	轴承损伤迹象及再使用的判断	200
8.4.2	轴承的拆卸	202
<b>第9章</b>	<b>驱动机的试验及性能测试</b>	<b>204</b>
9.1	单项技术指标	204
9.1.1	抽检驱动机主要零件的材质	204
9.1.2	蜗杆与蜗轮的质检	204
9.1.3	齿轮的质检	204
9.1.4	箱体的质检	205
9.1.5	蜗轮轴的质检	205
9.1.6	外购件的质检	205
9.1.7	控制蜗杆轴系零件动平衡残留量	205
9.2	驱动机综合技术指标的质检	206
9.2.1	齿侧间隙	206

9.2.2	轴窜量的测量	208
9.2.3	磁力器制动力的测试	209
9.2.4	主传动机构齿面的接触斑点	210
9.2.5	驱动器噪声的测试	210
9.2.6	驱动器振动的测试	217
9.2.7	驱动器承载能力测试	219
9.2.8	漏油测试	224
9.2.9	油漆质量检验	224
9.2.10	电动机质量检验	224
<b>第 10 章</b>	<b>驱动机的振动和噪声</b>	<b>226</b>
10.1	主传动机构的受力分析及力的计算	226
10.1.1	功率、转矩、转速及传动效率之关系	226
10.1.2	渐开线斜齿圆柱齿轮副的受力分析	227
10.1.3	圆柱蜗杆副的受力分析	228
10.2	驱动机的动载荷与振动	230
10.2.1	齿轮副、蜗杆副的振动基源	230
10.2.2	其他动载荷与振动	233
10.3	降低齿轮副(或蜗杆副)振动与噪声的措施	235
10.3.1	齿轮几何参数的选择	235
10.3.2	啮合类型与啮合参数的合理选择	237
10.3.3	工艺及其他因素对振动和噪声的影响	240
10.3.4	降低滚动轴承振动与噪声的途径和方法	251
10.4	电动机声源与减振、降噪声的方法	251
10.4.1	电动机的声源	251
10.4.2	风扇的设计	253
10.5	轴系零件静平衡和动平衡的影响	254
10.5.1	对振动和噪声影响的机理	254
10.5.2	驱动器应静平衡的零件和动平衡体	254
10.6	原动机的机械特性对振动和噪声的影响	255
附表	国产蜗杆副驱动机的选用	257
	主要参数文献	258

# 第 1 章 概 述

## 1.1 问题的提出

电梯是机电一体化设计的典型产品，大力开发和发展电梯产品，不仅可满足各部门的需要，而且可带动高新机电技术的发展。

电梯大致可分为两大类：一类是垂直升降电梯（简称垂直梯或电梯）；一类是自动扶梯（简称扶梯、电扶梯）和自动人行道。

自动扶梯是用于上、下输送乘客的带有循环运动梯级的电力驱动设备；自动人行道则是用于水平或倾斜地输送乘客的带有循环运动走道（例如板式或带式）的电力驱动设备。它们被广泛用于商场、车站、机场、码头、医院和文化馆所等人流密集之处。外形美观的扶梯（人行道）在公共场所不但可以运载人和物，而且亦可起到良好的装潢效果。

为了使乘客舒适，对公共场所不产生（或少产生）噪声污染，扶梯和人行道的主要技术指标是运行平稳、噪声低。故降低噪声和振动已成为研究扶梯（人行道）和开发扶梯（人行道）新机型的主要攻关项目之一。

扶梯（人行道）由动力源（电动机）、传动机构、执行机构三部分组成。其工作原理是：电动机驱动主传动机构、链传动机构及多个滚轮，带动梯级循环运行，执行输送任务，往往把电动机、主传动机构及附加的制动与限速装置设计成一个整体，这个整体就称为驱动机，如图 1-1 所示。

驱动机的主要功用是驱动扶梯和人行道减速运行，完成停车制动，限制超速和逆转运行。是扶梯和人行道的重要组成部分。驱

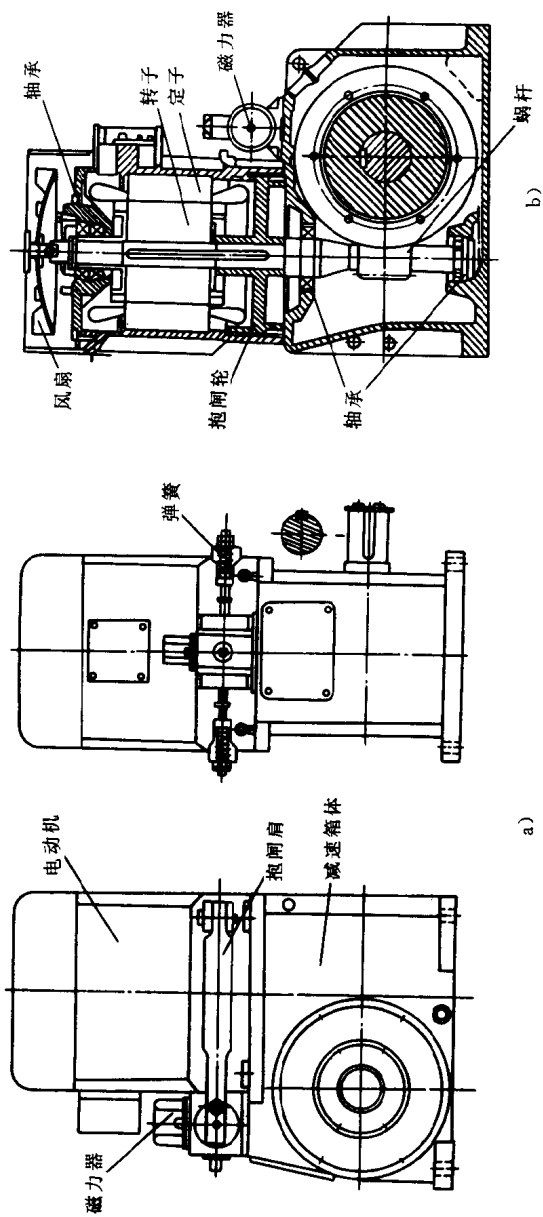


图 1-1

动机的产品质量直接影响整个扶梯和人行道的工作性能、工作状态、运载能力、工作寿命，所以扶梯及人行道对驱动力提出了极高的技术要求。要实现这些技术要求，有一定的难度，故研究驱动力、高技术含量地设计驱动力，高质量地生产驱动力，已成为当前扶梯和人行道设计、制造工作者的一项重要任务，也是新产品开发中的一项重要课题。

## 1.2 驱动机的发展趋势

扶梯（人行道）在我国发展很快，已由引进转入自行设计，已由以进口为主转向自产、自用并部分出口。仅仅几年时间，沿海各省市、各部门扶梯的应用已基本普及，其他各省、市对扶梯的需求也迅速发展起来。仅三四年的时间，扶梯生产厂家已增至 100 多个，总产量已突破 5000 台大关。目前扶梯生产的品种、质量、数量仍处于迅速发展的势头。“扶梯热”的局面仍在继续。另外，随着我国城市人口的迅速增长，交通问题日益突出，人行道也将在我国迅速应用和发展。这都将促使驱动机的发展和应用。

近几年，经过科技人员的努力，掌握了一些科学数据，在立足国情的条件下，设计出一批新型的驱动机产品，如 ZK<sub>1</sub> 蜗杆副驱动机，ZI 蜗杆副驱动机，并已批量生产。投入市场后，获得扶梯生产厂家的好评。特别是 ZC<sub>1</sub> 蜗杆副驱动机的问世，使我国驱动机的技术含量提高了一步；另外高精度齿轮副驱动机的设计、生产也取得了可喜成就。国内不少厂家生产的驱动机，技术指标已赶上或超过进口驱动机，如九三太工大电梯实业公司生产的 ZC<sub>1</sub> 蜗杆副驱动机的噪声已降到 54.5dB(A)，有效速度振动值降到了 0.02。

目前我国驱动机生产和应用都已达到相当高的水平，且品种繁多，卧式、立式、整轴式、分轴式、齿轮副、蜗杆副等不同功率的驱动机，已批量生产；我们在驱动机开发、研究、工业实践等方面都取得了技术性突破。然而应当看到，我国对驱动机的研



制、生产、应用的时间很短，设计理论、设计数据、设计经验与先进国家相比尚有较大差距，国内尚存在设计与生产质量不平衡，技术含量相差较大，试验研究没有引起有关部门重视，在不同程度上存在着技术的盲目性等现象，这使我国驱动机生产存在着如下问题：其一，产品设计不定型，没有系列化、通用化和标准化，造成产品质量极不稳定，这是目前最大问题之一；其二，生产工艺和生产手段比较落后，特别是一些小厂，这种现象更为突出；其三，仿抄设计现象较为严重，尚缺少具有独立设计特色、设计质量与技术含量较高的机型；其四，驱动机主传动机构的传动型式单一化，绝大部分驱动机主传动机构都为蜗杆副。齿轮副，特别是行星齿轮机构几乎没有人研究，也没有生产厂家研究，到目前为止驱动机的设计尚没有放开技术领域；其五，生产自动扶梯数量的日益增多，与驱动机生产现状存在着比较尖锐的矛盾，国外驱动机大量涌入我国市场，激发的矛盾也日益尖锐。

要迅速摆脱这种被动局面，适应迅速发展的形势，满足各行业对扶梯的需求，我们必须从如下几方面做好工作。

#### 1.2.1 选择具有优良啮合特性的主传动机构

影响驱动机设计质量的最主要因素是主传动机构的优劣。在选择主传动机构时，应着重考虑下列因素：承载能力大（使用寿命长）、传动效率高、工作平稳、噪声低、工艺简便、成本低。目前驱动机主传动机构比较单一，仅用齿轮传动机构。在齿轮传动机构中应用得又十分繁杂，诸如：斜齿轮副、蜗杆副（ $K_1$ 、 $I$ 、 $C_1$ 、 $C_3$ 等齿形及二次包络环面蜗杆副）等。国外正开发各种行星轮系机构。现在国内的发展趋势是通过试验研究，对现有主传动机构进行对比分析，选择一种或两种适合国情的“最佳”主传动形式。对新型传动形式已有不少技术人员着手开发研究，力图尽早开发出新传动形式的驱动机。

#### 1.2.2 设计出体积载荷大、结构紧凑的驱动机

随着扶梯技术迅速发展的要求，体积小、重量轻、结构紧凑的驱动机将是今后设计质量提高的必然标志，也是驱动机技术发